

L'Agriculture de Conservation peut-elle être une alternative à l'Agriculture Conventiennelle en zone cotonnière au Sud du Mali ?

Auteurs : Fagaye SISSOKO , Agronome, Programme coton, IER; Bruno RAPIDEL, Agronome CIRAD
Can Conservation Agriculture be an alternative to Conventional Agriculture in cotton zone in Southern Mali

Authors : Fagaye SISSOKO, Agronome, Programme coton, IER ; Bruno RAPIDEL, Agronome, CIRAD

Résumé

En zone soudano-sahélienne, la productivité des cultures est limitée par la disponibilité de l'eau. Le coton en est particulièrement affecté au moment de son établissement. L'utilisation des résidus de la culture précédente comme couverture du sol est une voie d'amélioration de l'alimentation en eau en début et/ou en fin de saison des pluies. Pour tester cette hypothèse, nous avons comparé le système de culture conventionnel avec deux semis directs sur couverture végétale dans lesquels le coton est cultivé sur résidus de sorgho (*sorghum bicolor*) et sur résidus de sorgho/*Brachiaria ruziziensis* sp. Les résultats obtenus montrent que le sol était suffisamment couvert avant la culture du coton (4,4 t/ha à 9,2 t/ha). Les états de surface produits par ces résidus étaient différents de ceux qui ont été produits en système conventionnel. En revanche, les enherbements en semis direct ont été mal maîtrisés. La présence de résidus a permis une levée du coton légèrement plus rapide mais, elle n'a pas assuré de meilleures densités de peuplement qu'en système conventionnel. Le rendement du cotonnier n'a pas été amélioré (1,6 t/ha) de manière significative par rapport au système conventionnel (1,7 t/ha). Les deux années (2006 et 2007) ont été exceptionnellement pluvieuses, ce qui n'a pas permis de valoriser le gain d'infiltration lié aux résidus.

Mots clés : agriculture de conservation, semis direct sous couvert végétal, infiltration, enherbement, rendement, Mali Sud

Abstract :

In the Sudan-Sahel zone, crop productivity is limited by the availability of water. Cotton is particularly affected in its establishment phase. Using residues from the previous crop as soil cover could be a way of improving the water supply at the beginning and/or end of the rainy season (reduced run-off). In order to test this hypothesis, we compare conventional cropping system with two direct-sowing mulch-based cropping systems, in which cotton was grown on sorghum residues, or a sorghum/*Brachiaria ruziziensis* sp. combination. The results obtained showed that soil was sufficiently covered during the cotton growing phase (4.4 t/ha to 9.2 t/ha). The surface conditions produced by the residues were very different from those produced in the conventional system. However, weed growth in the direct sowing systems was poorly managed. The presence of residues enabled slightly faster cotton emergence but did not give better stand densities than in the conventional system. Cotton yield was not significantly improved (1, 7 t/ha) compared to conventional system (1,6 t/ha). The two years (2006 and 2007) were exceptionally wet, so it was not possible to benefit from the gain in infiltration linked to the residues.

Key words : conservation agriculture, direct seeding under vegetable cover, infiltration, weeds, yield, South Mali

1. INTRODUCTION

En Afrique de l'Ouest, la densité de la popula-

tion est encore relativement faible. Cependant, en moins de quarante années, la population du Mali a doublé et elle continuera d'augmenter, alors que les surfaces agricoles ne peuvent guère croître au-delà de leur niveau actuel. Il faudra pourtant que cette agriculture continue de nourrir et sans doute, de vêtir cette population grandissante. Certains systèmes de culture traditionnels sont en voie de sédentarisation et les rotations avec jachères de longue durée sont de plus en plus rares (Yossi, et al., 2006a). Cette évolution se traduit par la stagnation des rendements résultant de la modification des systèmes de culture et d'une éventuelle baisse de la fertilité des sols (Cretenet, et al., 1994).

Le défi est de produire plus et mieux. C'est dans ce contexte que se sont développées des formes d'agriculture qui reposent sur les processus écologiques. Le recyclage des éléments nutritifs est la base fondamentale de cette technologie. Ces nouvelles voies de recherche englobent l'agroforesterie, l'agriculture biologique et l'agriculture de conservation. C'est dans cette dernière mouvance que sont apparus les systèmes de culture sur couverture végétale (SCV).

Ces systèmes de culture sont caractérisés par l'absence de travail du sol et l'utilisation d'une plante de couverture (morte ou vivante) qui, tout en protégeant la surface de sol, favorise le développement de l'activité biologique (Erenstein, 2003). La bonne maîtrise de l'enherbement avec des produits moins coûteux a favorisé l'essor de cette technologie. Ces systèmes ont fait leurs preuves dans des situations d'agriculture mécanisée, en particulier au Brésil, aux Etats-Unis et en Australie. Ils commencent à être adoptés dans des contextes d'agriculture paysanne au Brésil (Bolliger, et al., 2006), en France (Lagourgue, 2002), à Madagascar (Rakotondramanana, et al., 2007), en Afrique de l'Est et ailleurs (Lal, 1975).

En Afrique de l'Ouest, l'enherbement est une cause connue de diminution du rendement des parcelles de coton. Les pertes sont évaluées à 35% des rendements si les mauvaises herbes ne sont pas contrôlées pendant le premier

mois après le semis. Elles peuvent atteindre 90% dans le cas d'une compétition avec *Cyperus rotundus*, *Euphorbia heterophila*, *Imperata cylindrica* (Fadoegnon, 2007). Les herbicides sont parfois appliqués en prélevée (mélange de prométhrine et de fluométuron) et rarement en postlevée (haloxyfop). Ils sont utilisés sur seulement 21% des parcelles cultivées en zone CMDT (Dembélé, et al., 2004).

L'agriculture au sud du Mali est ancienne. Elle a évolué depuis des siècles en s'adaptant à des contextes changeants (Yossi, et al., 2006b). Ces évolutions ont abouti à des systèmes de culture cotonniers relativement performants, reposant en particulier sur l'association entre l'agriculture et l'élevage. Ce sont ces systèmes que l'on tente d'améliorer. Il est donc fondamental de bien les connaître et de les expérimenter dans des conditions représentatives de leur application future en milieu paysan.

Le présent travail avait pour objectif de mieux comprendre le fonctionnement des systèmes de culture à base de cotonnier sous couverture végétale. Il était fondé sur la mesure des flux hydriques par les résidus laissés à la surface du sol des parcelles expérimentales et ses influences sur le rendement.

3. MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1. Caractéristiques du site expérimental

Les expérimentations ont été conduites en 2006 et 2007 à la Sous-Station de Recherche Agronomique (SSRA) de Farako/Finkolo (11°27' Nord et 5°51' Ouest), située en zone soudano sahélienne au Sud-Est du Mali à environ 15 km à l'Est de la ville de Sikasso (figure 1). La pluviométrie moyenne annuelle sur 15 ans (1992 - 2007) est de 1042 mm avec un écart type de 220 mm. La description du sol a été faite en 2006 à partir de fosses ouvertes à côté des parcelles d'essai. Les sols sont de types ferrugineux tropicaux lessivés à hydromorphie de profondeur. La pente mesurée avec un théodolite, est de 1.2% sur l'ensemble du terrain. La texture du sol est sablo-limoneuse en surface (tableau I). En profondeur, le taux d'argile augmente considérablement, et le

taux de sable diminue dans les mêmes proportions (Sissoko, 2009). Le taux de limons reste stable sur le profil autour de 20%. La teneur en

matière organique est supérieure au seuil critique de 0.5% au dessous duquel les risques de dégradation physique et de faibles rendements

Figure 1 : Localisation des sites de recherches dans la région de Sikasso au Mali

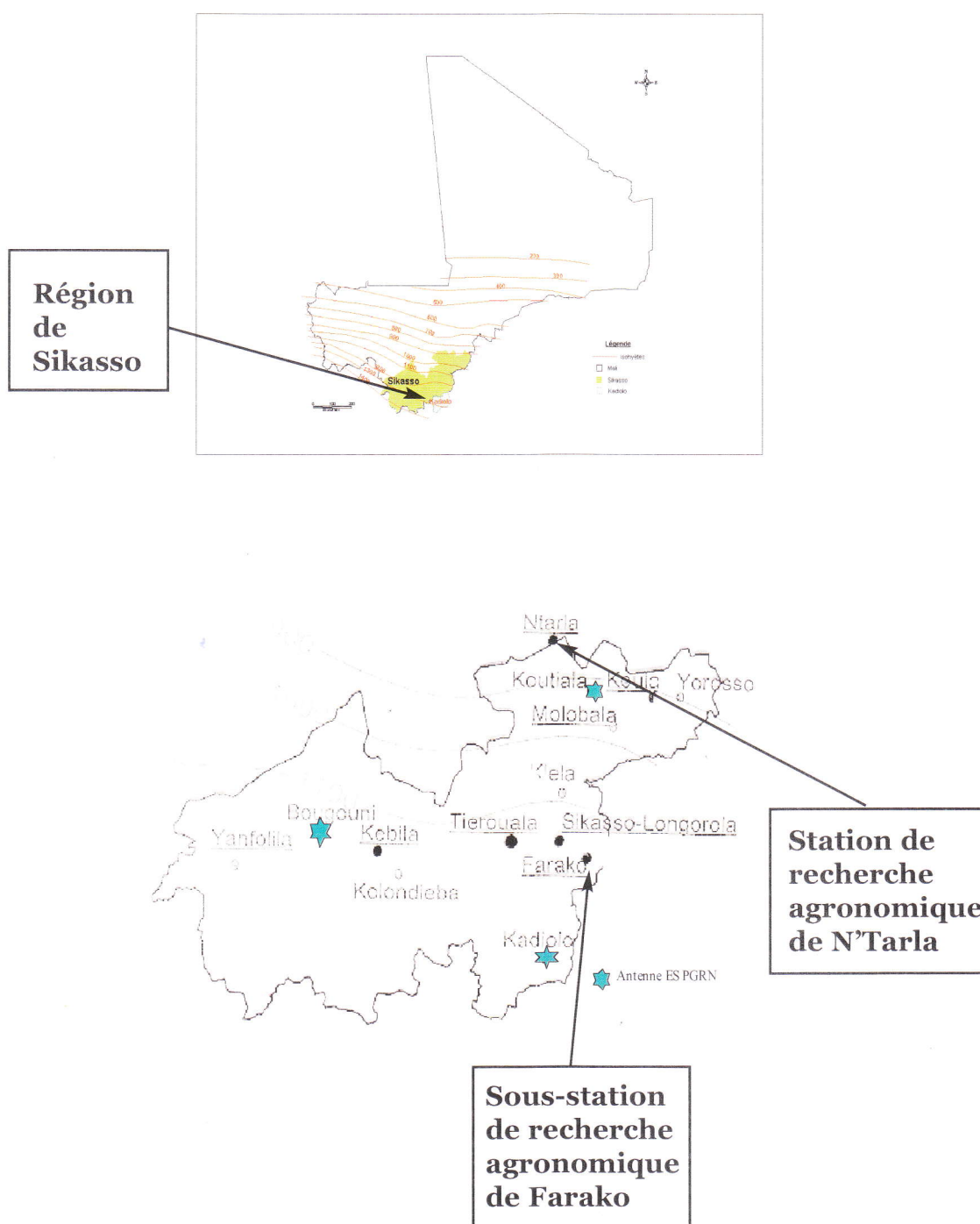


Tableau I. Caractéristiques physico-chimiques des échantillons de sol prélevés dans la zone de l'étude

Profondeur (cm)	pF4.2 % Vol	pF2.5 % Vol	Argile %	Limon %	Sable %	pH eau	Matière organique %
0-20	7.3	11.8	15.1	21.8	63.1	5.2	0.8
20-40	10.6	15.6	21.0	19.8	59.2	5.4	0.6
40-70	17.8	26.4	31.1	19.7	49.2	5.2	0.5
70-100	21.1	30.5	39.8	22.2	38.0	5.2	0.4
100-130	23.5	33.8	44.3	23.1	32.6	5.4	0.4
130-160			40.0	22.8	37.3	5.1	0.3
160-190			41.2	25.0	33.9	5.1	0.2

sont importants (Pieri, 1989).

3.2. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental était en bloc de Fisher avec 3 systèmes de culture : le système conventionnel (SC), un premier niveau de semis direct sous couverture végétale : SCV1 (coton semé sous résidus de sorgho) et un deuxième niveau de semis direct sous couverture végétale : SCV2 (coton semé sous résidus de sorgho + résidus de *Brachiaria* sp) en 4 répétitions. La succession des cultures était biennale coton/sorgho. Les parcelles étaient protégées avec une clôture en fil de fer barbelé pour éviter la pâture des résidus de récolte en saison sèche par les animaux en divagation.

3.3. Conduite des SCV et leur logique

Afin d'étudier les effets du semis direct sous couverture végétal (SCV), nous avons choisi de construire nos expérimentations sur la base des pratiques de rotation et de conduite des cultures des agriculteurs de la zone. Le sorgho produit de grandes quantités de biomasse et les résidus sont moins prisés que les résidus de maïs ou d'arachide pour la nourriture des animaux ; en outre, ces résidus se dégradent moins vite. Travaillant sur des systèmes de culture semblables au Cameroun, Naudin et Balarabe (2005) ont montré que *Brachiaria* était une plante de couverture dont la crois-

sance, bien adaptée quand il est semé dans les interlignes du sorgho, permet d'augmenter la production de biomasse.

Nous avons conçu une règle de décision sur le semis de notre essai à partir de ces pratiques : dans les parcelles en SCV, le semis est réalisé quand le sol est suffisamment humidifié sur une profondeur de 20 cm. Ainsi, toute pluie suffisante pour faire un labour en SC permet un semis en SCV.

Le sorgho est semé à partir du 15 juin. *Brachiaria* est semé 20 jours après le semis du sorgho pour éviter une trop forte compétition (Naudin, 2002).

L'entretien des parcelles en SC a été conduit, comme en milieu paysan, par deux sarclages et un buttage. Le buttage est réalisé après le 45ème JAS. Le glyphosate a été utilisé pour maîtriser les mauvaises herbes avant la mise en place des parcelles en SCV. Après la récolte, nous avons exporté la totalité des résidus de récolte des parcelles en SC. Dans les parcelles en SCV, les résidus ont été conservés dans les parcelles.

3.4. Fertilisation

La fertilisation du coton dans les parcelles en Système Conventionnel (SC) était de 125 kg/ha de NPK (complexe coton) épandus deux semaines après la levée et 50 kg/ha d'urée épandus au 45ème Jour Après Semis (JAS).

La même fertilisation a été apportée dans les parcelles en SCV, en plus un apport supplémentaire de 50 kg/ha d'urée a été fait au même moment que l'apport du NPK pour éviter une faim d'azote qui peut se manifester avec l'utilisation des résidus en couverture. Cet effet observé au cours de la décomposition des résidus en couverture, a été également démontré au Cameroun (Naudin and Balarabe, 2005). Aucune fertilisation n'a été apportée sur le sorgho, conformément à la pratique paysanne.

3.5. Mesures effectuées

3.5.1. Évolution des états de surface

3.5.1.1. Evolution de la quantité de biomasse

La biomasse produite par les différentes cultures a été coupée avec des machettes et rabattue à la surface du sol. La quantité a été estimée après la récolte et de manière épisodique pendant la saison sèche. A chaque date et pour chaque bloc la biomasse était mesurée sur deux placettes de 1,6 m² chacune. Des échantillons de 50 à 100 ont été prélevés et séchés à l'étuve à 70°C pendant 48 heures pour la détermination de la teneur en matière sèche.

3.5.1.2. Evaluation du pourcentage de litière

Le pourcentage de surface couverte de litière a été estimé suivant la méthode de la grille décrite par Rezende et al. (1999). Un cadre de 1 m² divisé en 100 carrés de 10 cm de côté a été utilisé. Une aiguille permettait d'estimer la couverture à la verticale des 100 sommets de ces carrés, notés comme points d'impact. Les surfaces couvertes de litière étaient notées par "O" et celles non couvertes par "N".

3.5.2. Rendement

Le coton a été récolté sur les quatre lignes centrales des parcelles élémentaires, en laissant de chaque côté trois lignes de bordure. Les trois premiers poquets de part et d'autre des 4 lignes centrales n'ont pas été récoltés.

3.5.2.1. Nombre de poquets par hectare (densité)

Le nombre de poquets par hectare a été choisi plutôt que le nombre de plants par hectare, car il est susceptible de mieux expliquer la variabilité spatiale. Trois mesures successives ont été réalisées pour le suivi de la densité : la vitesse de levée, le nombre de poquets levés au démaillage et le nombre de poquets à la récolte.

3.5.2.2. Nombre de capsules par hectare

Nombre de sites reproducteurs : le nombre de sites pouvant potentiellement porter une capsule a été compté sur 10 plants choisis au hasard à l'intérieur des parcelles utiles de manière périodique jusqu'au 115ème jour après le semis.

3.5.2.3. Poids moyen capsulaire

Le poids moyen capsulaire a été obtenu en divisant le poids de coton graine produit par les 10 plants choisis dans chaque parcelle élémentaire par le nombre de capsules produits.

3.5.3. Suivi de l'enherbement des parcelles

Une cotation d'enherbement était réalisée tous les 10 jours après la levée dans tous les systèmes de culture, au moyen de la méthode de mesure du recouvrement du sol par les mauvaises herbes (Marnotte, (1984). L'aire d'enherbement a été calculée en utilisant les dates de mesure et les notes d'enherbement. Les cotations étaient faites avant les sarclages.

3.6. Analyse des données

L'analyse de variance a été réalisée avec le logiciel Statbox et le test de séparation des moyennes utilisé a été celui de Newman et Keuls.

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1. Évolution des états de surface

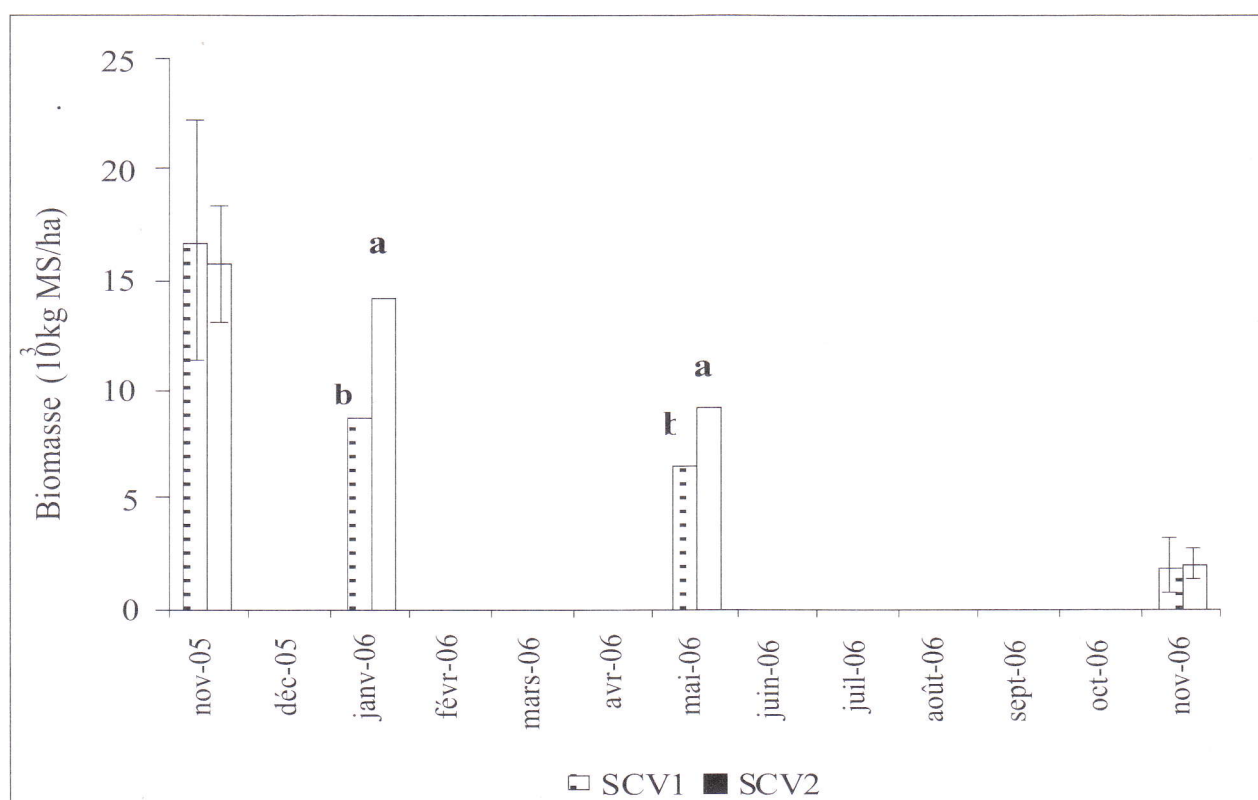
4.1.1. Évolution des biomasses de résidus

En début de campagne en 2006 (semis du

coton), on disposait de quantités importantes de résidus de sorgho et sorgho plus *Brachiaria* (5t MS/ha à 9t MS/ha) dans les parcelles en SCV1 et SCV2 (figure 2). Les quantités de biomasse produites dans nos essais sont conformes à celles obtenues avec un sorgho non fertilisé pendant deux années dans les régions climatiques similaires (pluviométrie annuelle 800 à 1200 mm) entre 4,3 et 5,1t MS/ha au Burkina Faso (Ouedraogo, et al., 2007) ; entre 3.5 et 4.1t MS/ha au Mali à la Station de Cinzana (Kouyaté, et al., 2000). Après la récolte du coton en 2006, moins de 2t MS/ha

de résidus de sorgho produits en 2005 étaient encore disponibles dans les parcelles en SCV (figure 2). La réduction de la biomasse de sorgho est de 71% pour le SCV1 et 79% pour le SCV2. Ces niveaux de dégradation sont identiques à ceux habituellement admis en 120 jours de culture. Gomez (2002) a aussi mesuré une diminution de 72,5 % de la biomasse de résidus composée de sorgho et de *Brachiaria*. Arreola-Tostado (1996) a également enregistré une réduction de 63 % en 140 jours de culture avec des résidus de maïs dans l'état de Jalisco au Mexique.

Figure 2. Evolution de la biomasse de sorgho une année après la récolte dans les différents systèmes de culture.



Légende : SCV1 : coton semé sous résidus de sorgho ; SCV2 : coton semé sous résidus de sorgho + résidus de *Brachiaria* + nom espèce
NB : les traitements ayant les mêmes lettres pendant le même mois ne sont pas significativement différents au seuil de 5%.

4.1.2. Évaluation du taux de couverture du sol

Le pourcentage de surface couverte de litière

estimé le 15 mai avant le labour des parcelles en SC est toujours plus élevé dans les parcelles en SCV1 et SCV2 (tableau II). Dans les parcelles en SC, on observe toujours la présence de certaines mauvaises herbes qui font que le pourcentage de couverture est différent de zéro.

Tableau II. Pourcentage de sol couvert de litière dans les différents systèmes de culture

	Résidus de coton			Résidus de sorgho		
	SC	SCV1	SCV2	SC	SCV1	SCV2
Bloc 1	18	69	52	9	54	89
Bloc 2	36	59	63	12	62	73
Bloc 3	30	75	76	17	41	79
Bloc 4	32	59	52	22	38	89
Moyenne	29	66	61	15	49	83

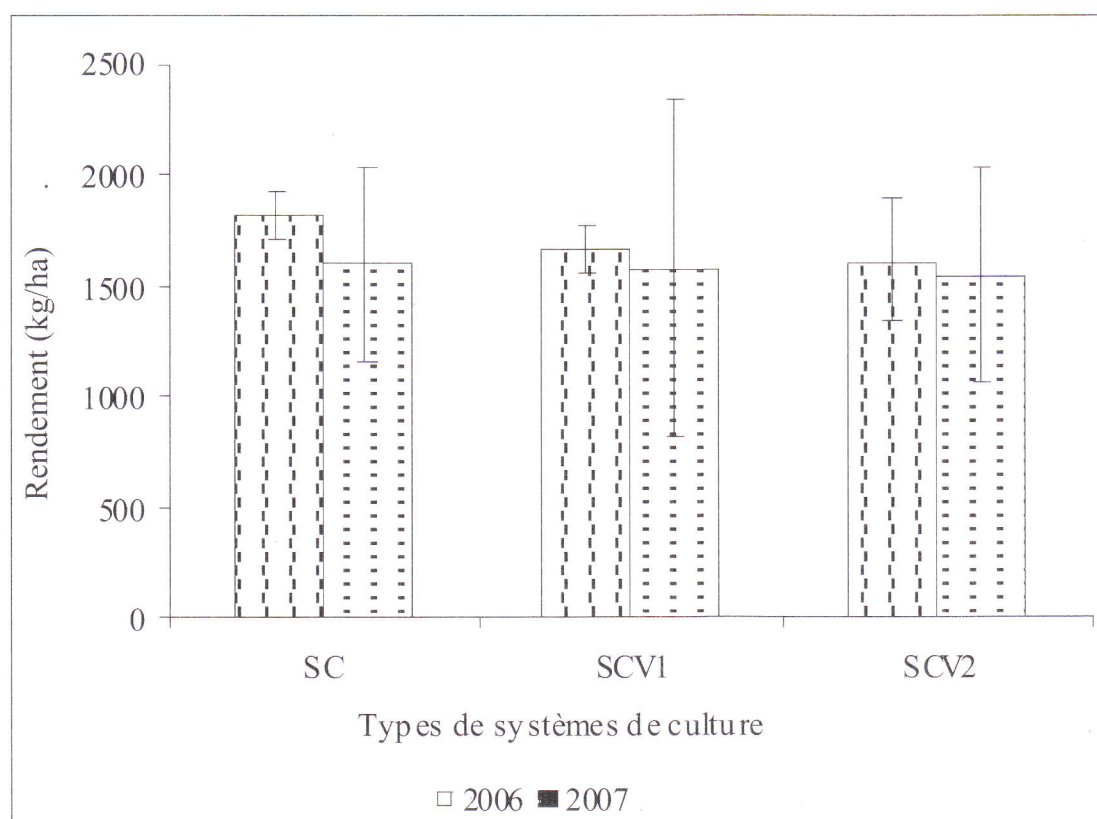
4.2. Le rendement et ses composantes

4.2.1. Rendement

L'utilisation des résidus de récolte comme couverture végétale a occasionné une meilleure conservation de l'humidité en début de culture. Cependant, cet effet bénéfique, à la levée et à la croissance des plants, ne s'est pas traduit par une augmentation de rendement

(figure 3). Les analyses statistiques effectuées ne montrent pas de différence significative entre les types de systèmes de culture. Pendant les deux campagnes, le rendement moyen obtenu avec les différents systèmes de culture est supérieur à 1,5 t/ha, légèrement supérieur à la moyenne nationale de 1t/ha (CMDT, 2004).

Figure 3. Rendements de coton-graine obtenus dans les différents systèmes de culture pendant les deux campagnes (2006 et 2007).



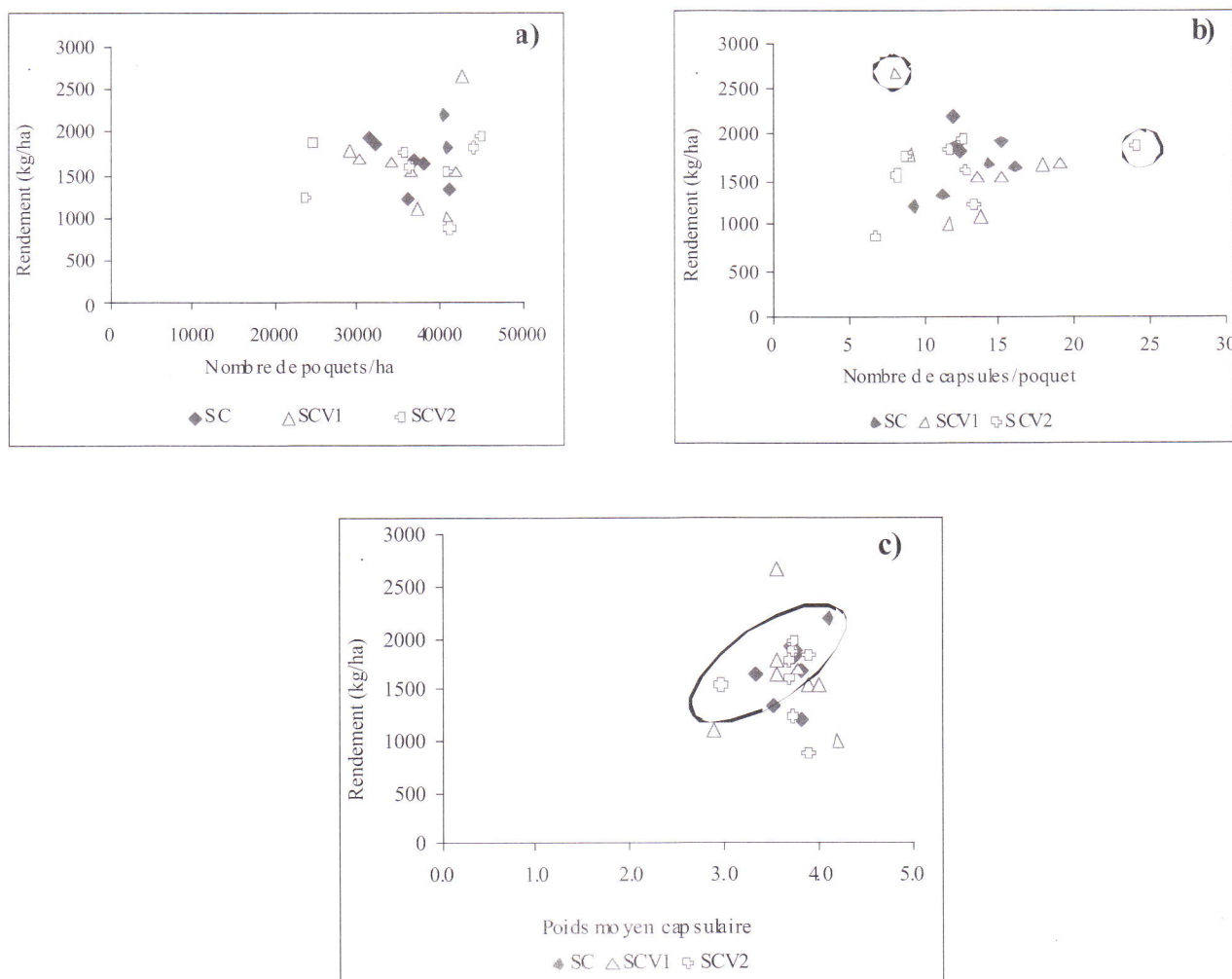
4.2.2. Les composantes du rendement

4.2.1. Nombre de poquets à la récolte

Il n'y a pas de relation claire entre le nombre de poquets à la récolte et le rendement obtenu dans les différents systèmes de culture (figure 4 a). Entre 30000 et 40000 poquets/ha, les rendements varient fortement entre 1-2,3 t/ha pour tous les systèmes de culture. Ces résultats sont confirmés par les travaux de Rapidel, et al. (2006), ayant obtenu des rendements identiques avec des densités variant entre 34000 et 48300 plants/ha. Cependant, des avis contradictoires sont publiés par nombre

de chercheurs, en tentant de mettre en relation la densité et le rendement. Bednarz, et al. (2000) ont montré que le rendement n'est pas influencé par des densités variant entre 2,5 et 23 poquets/m². Ceci s'explique par l'ajustement du pourcentage des capsules sur les différentes positions qui annule l'effet de la forte densité. A l'inverse, des travaux de Smith et al. (1979) ont montré que la production de coton graine est significativement différente pour des fortes densités (170 000 poquets/ha) comparés aux faibles densités (34 000 poquets/ha).

Figure 4. Contribution des composantes du rendement pour chaque système de culture pendant les deux campagnes (2006 et 2007) : a) nombre de poquets à l'hectare ; b) nombre de capsules par poquet ; c) poids moyen capsulaire

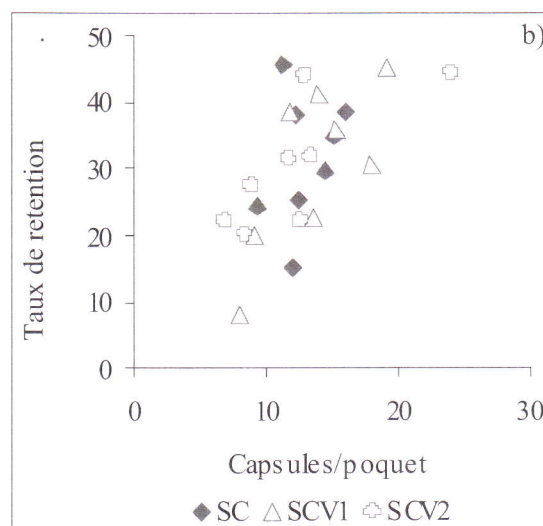
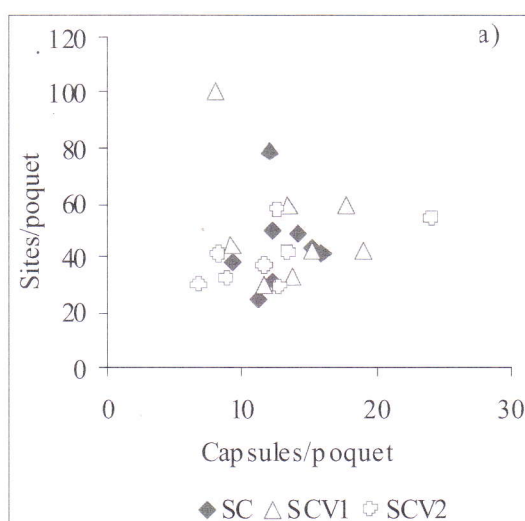


4.2.2. Nombre de capsules par poquet

On observe une meilleure relation entre le nombre de capsules par poquet et le rendement dans tous les systèmes de culture (figure 4 b). On peut dire que le nombre de capsules par poquet est la composante du rendement la

plus importante. Ce résultat est confirmé par les travaux de Lacape (1998). Cette composante peut être décomposée à son tour (figure 5). La rétention des capsules semble être plus discriminante que le nombre de sites par poquet.

Figure 5 : Contribution des deux sous-composantes du rendement au nombre de capsules par poquets, pour chaque système de culture pendant les deux campagnes (2006 et 2007) : a) nombre de sites par poquet; b) pourcentage de rétention des capsules.



4.2.3. Poids moyen capsulaire (PMC)

Aucune tendance claire ne se dégage pour la contribution du poids moyen capsulaire au rendement (figure 4 c). Lorsqu'on compare cette analyse avec celle de Lacape (1998) qui a obtenu une relation très forte entre le nombre de capsules par plant et le rendement en testant l'effet du stress hydrique sur différentes variétés de cotonnier, il semble que dans notre cas, qui fait intervenir des modifications plus complexes et plurifactorielles, aucune composante du rendement ne se dégage aussi clairement. Les compensations entre composantes sont en fait le phénomène dominant : des forts PMC correspondent aussi à des faibles densités, ou des faibles rétentions de capsules. Ceci confirme la faible pertinence de la décomposition du rendement dans le cas des plants indéterminés lorsqu'il n'existe pas un facteur limitant majeur modifié par les techniques.

4.3. Effet de l'enherbement sur la production de biomasse

On observe une bonne relation linéaire entre l'enherbement et la production de biomasse du cotonnier (figure 6). En revanche, à des aires faibles (enherbements légers), les facteurs limitant de la production de biomasse ne semblent pas liés à l'enherbement.

Dans les sols ferrugineux tropicaux, les teneurs en éléments nutritifs du sol sont faibles. Cette réduction de la production de biomasse peut sans doute s'expliquer par la compétition pour les éléments nutritifs. Le cotonnier est très sensible à l'enherbement, même en début de cycle (Keely and Thullen, 1989). Tout retard dans le sarclage a un effet dépressif sur la production de biomasse. Ces résultats sont confirmés par les travaux de beaucoup de chercheurs. Bararpour et al. (1994) ont montré que la production de biomasse du coton diminuait avec la durée de l'enherbement.

Bukun (2004) a montré que pour réduire à moins de 5% les pertes, l'enherbement doit être maîtrisé pendant les 12 semaines qui suivent la levée. Un séjour prolongé des mauvaises herbes dans la parcelle réduit de manière significative le rendement des cultures (Vencill, et al., 1992).

Le nombre de site par poquet est donc lié à la biomasse de ce poquet à 90 jours après la levée. Cette biomasse, à son tour, semble influencée par la capacité photosynthétique mise en place au début de la culture, et par l'enherbement.

En SCV, le contrôle de l'enherbement a été déficient, et cela explique en partie les performances modestes des SCV dans nos conditions. Cet effet de l'enherbement, en de bonnes conditions hydriques, est sans doute un indice de stress nutritionnel.

5. CONCLUSION

Pendant les deux années de l'expérimentation, nous n'avons pas observé de différence significative entre les rendements obtenus dans les différents systèmes de culture. La meilleure conservation de l'humidité du sol dans les systèmes en SCV ne s'est donc pas traduite par une augmentation de rendement. Les deux campagnes ont été très pluvieuses, le déficit hydrique n'a pas été un facteur limitant ; au contraire, les cotonniers ont probablement souffert de l'excès d'humidité. Les mesures que nous avons faites n'ont pas permis de mesurer l'anoxie et donc d'aller plus loin sur cette voie. Cette forte humidité semble se traduire par une perte de plantules.

Le rendement n'a pas été influencé par le nombre de poquets à l'hectare ni par le PMC. La composante la plus importante est le nombre de capsules par poquet, lié à la rétention des capsules et au nombre de sites mis en place.

Sur une plante indéterminée, où les composantes du rendement se mettent en place en interactions partielles les unes avec les autres, il y a de fortes compensations. Nous avons effectivement observé des compensations importantes entre les composantes choisies

pour évaluer le rendement.

L'enherbement a été un facteur limitant du rendement, affectant le nombre de capsules par poquet. Ce facteur est souvent cité comme le facteur le plus complexe à maîtriser lors de la mise en place des SCV. Les conditions de nos essais, et de la production cotonnière malienne en général, sont peu propices à la mise en place très rapide d'un peuplement dense, qui pourrait effectivement réduire le développement des mauvaises herbes. Il faut souligner que ce facteur serait sans doute un facteur limitant également en milieu paysan. Il conviendra donc de résoudre ce problème de maîtrise des mauvaises herbes avant d'envisager une diffusion des SCV.

Finalement, bien que nous n'ayons pas fait de mesure spécifique du facteur alimentation azotée, il est probable qu'il soit un facteur limitant du rendement, facteur accentué par l'importance de l'enherbement. Cependant, il est probable dans le long terme, que l'accumulation de la matière organique des sols par les SCV se traduise par une augmentation des quantités d'éléments minéraux disponibles pour la plante, comme l'a montré Maltas (2007) dans les conditions des Cerrados brésiliens.

Sous réserve de maîtriser les mauvaises herbes, il est possible que les effets positifs des SCV sur la rétention de l'eau, puissent se traduire par une augmentation du rendement lors d'années moins pluvieuses que celles de l'expérimentation.

6. RÉFÉRENCES

- Arreola-Tostado, J.M., (1996). 'Etude de la modélisation de l'effet des paillis sur le bilan hydrique, le cas de semis direct sous paillis au Mexique'. Montpellier: Université Montpellier II, 82.
- Bararpour, M.T., Talbert, R.E. and Frans, R.E., (1994). 'Spotted spurge (*Euphorbia maculata*) interference with cotton (*Gossypium hirsutum*).' *Weed Sci.*, 42:553-555.
- Bednarz, C.W., Bridges, D.C. and Brown, S.M., (2000). 'Analysis of cotton yield stability

- across population densities'. *Agron J.*, 92:128-135.
- Bolliger, A.M., Amado, J., Skora Neto, J.C.T., Ribeiro, F., Calegari, M.D.F.D.S., Ralisch, A., de Neergaard, A.R. and Donald, L.S., (2006). 'Taking Stock of the Brazilian "Zero Till Revolution": A Review of Landmark Research and Farmers' Practice'. *Advances in Agronomy*, 91:47-110.
- Bukun, B., (2004). 'Critical periods for weed control in cotton in Turkey'. *European Weed Research Society Weed Research*, 44:404-412.
- CMDT, (2004). 'Annuaire statistique 2002/2003. Résultats de l'enquête agricole permanente. Bamako: CMDT; Direction de la production du coton graine (DPCG).'
- Cretenet, M., Dureau, D., Traore, A. and Ballo, D., (1994). 'Fertilité et fertilisation dans la région sud du Mali: du diagnostic au pronostic'. *Agriculture et développement*, 3 (août):4-12.
- Dembélé, S., Yattara, A.A. and Togola, M., (2004). 'Développement de la culture du coton génétiquement modifié au Mali. Plan stratégique national.'
- Erenstein, O., (2003). 'Smallholder conservation farming in the tropics and sub-tropics: a guide to the development and dissemination of mulching with crop residues and cover crops'. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 100:17-37.
- Fadoegnon, B., (2007). 'Comment améliorer les rendements de la culture du coton en Afrique. USAID WACPI MALI. www.ifdc.org'.
- Gomez, V.M.R., (2002). 'Quantification et modélisation des flux hydriques, thermiques, et azotés dans les systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale dans la région des Cerrados brésiliens.' MONTPELLIER: UNIVERSITÉ MONTPELLIER II.
- Keely, P.E. and Thullen, R.J., (1989). 'Growth and competition of black nightshade (*Solanum nigrum*) and Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) with cotton (*Gossypium hirsutum*)'. *Weed Sci.*, 37:326-334.
- Kouyaté, Z., Franzlubbers, K., Juo, A.S.R. and Hossner, L.R., (2000). 'Tillage, crop residue, legume rotation, and green manure effects on sorghum and millet yields in the semiarid tropics of Mali'. *Plant and Soil*, 225 (1-2):141-151.
- Lacape, J.M., (1998). 'Analyse écophysio-logique de la réponse de variétés de cotonnier au déficit hydrique'. Montpellier: Ecole Nationale Supérieure Agronomique, 120.
- Lagourgue, L., (2002). 'Le semis direct en France : ses conditions d'adoption et de diffusion, ses réussites et ses échecs. Mémoire de DESS « Développement Rural » ; Université Lumière Lyon 2, 79 p.'
- Lal, R., (1975). 'Role of mulching techniques in tropical soil and water management. Tech.Bull., IITA Ibadan, 1,38p.'
- Maltas, A., (2007). 'Analyse par expérimentation et modélisation de la dynamique de l'azote dans les systèmes sous semis direct avec couverture végétale des cerrados brésiliens'. Montpellier II, 220.
- Marnotte, P., (1984). 'Influence des facteurs agroécologiques sur le développement des mauvaises herbes en climat tropical humide'. 7ème Coll. Int. sur Biol., Ecol. et Syst. des Mauvaises Herbes. Paris, 183-190.
- Naudin, K., (2002). 'Systèmes de culture sur couverture végétale DPGT - Garoua - Cameroun Saison 2001/2002. Rapport d'activité SODECOTON Juin 2001-Février 2002'.
- Naudin, K. and Balarabe, O., (2005). 'Fours-years of experimentation on under mulch by North Camerounian farmers. In: IIIrd world congress on conservation agriculture, Naïrobi (African conservation tillage network).'
- Ouedraogo, E., Mando, A., Brussaard, L. and Stroosnijder, L., (2007). 'Tillage and fertility management effects on soil organic matter and sorghum yield in semi-arid West Africa'. *Soil and Tillage Research*, 94 (1):64-74.
- Pieri, C., (1989). 'Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Paris: Ministère de la Coopération et CIRAD-IRAT.
- Rakotondramanana, C.F.X., Naudin, K., Rampanjato, T. and Razafintsalama, H., (2007). 'Séminaire régional sur l'agroécologie et les techniques innovantes dans les systèmes de production cotonniers : 24 au 28 septembre 2007, Maroua, Cameroun'.

- Rapidel, B., Defeche, C., Traore, B., Lançon, J. and Wery, J., (2006). 'In-field development of a conceptual crop functioning and management model: A case study on cotton in southern Mali'. *European Journal of Agronomy*, 24:304-315.
- Rezende, C.d.P., Cantarutti, R.B., Braga, J.M., Gomide, J.A., Pereira, J.M., Ferreira, E., Tarre, R., Macedo, R., Alves, B.J.R., Urquiaga, S., Cadisch, G., Giller, K.E. and Boddey, R.M., (1999). 'Litter deposition and disappearance in *Brachiaria* pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil.' *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 54:99-112.
- Sissoko, F., (2009). 'Analyse des flux d'eau dans les systèmes de culture sous couverture végétale en zone soudano sahélienne : cas du coton semé après une culture de sorgho/*brachiaria* au Sud du Mali '. Thèse de Doctorat unique. Université de Montpellier, France, 169 pages.
- Smith, C.W., Waddle, B.A. and Ramey, H.H., Jr., (1979). 'Plant Spacings with Irrigated Cotton'. 858-860.
- Vencill, W.K., Giraudo, L.J. and Langdale, G.W., (1992). 'Response of cotton (*Gossypium hirsutum*) to coastal bermudagrass (*Cynodon dactylon*) density in a no-tillage system.' *Weed Sci.*, 40:455-459.
- Yossi, H., Karembé, M., Coulibaly, K. and Coulibaly, L., (2006a). 'Impact de la mise en culture sur la constitution de la végétation ligneuse des savanes en zone Mali-Sud'. *Les cahiers de l'Economie Rurale*, 4:44-59.
- Yossi, H., Karembé, M. and N'Diaye, I., (2006b). 'Influence de l'amélioration des jachères par plantation de ligneux à usages multiples sur le rendement du sorgho après remise en culture en zone soudanienne du Mali'. *Les cahiers de l'Economie Rurale*, 4:29-40.